

PERANCANGAN PRESSURE VESSEL KAPASITAS 0,017 M³ TEKANAN 1 MPa UNTUK MENAMPUNG AIR KONDENSASI BOGE SCREW COMPRESSOR

Cahya Sutowo¹.,ST.MT. Hantawan²

Lecture¹,College student²,Departement of machine, Faculty of Engineering, University Muhammadiyah Jakarta, JalanCempakaPutih Tengah 27 Jakarta Pusat 10510, Tlp 021-4244016,4256024, email : csutowo@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam rangka mendukung kebijakan perusahaan untuk melakukan penghematan biaya operasional dengan cara efisiensi dan melakukan perbaikan terus menerus pada mesin, termasuk saluran buang air hasil kondensasi mesin kompresor dan mencegah terbuangnya udara bertekanan secara kontinyu, maka dirancanglah sebuah pressure vessel dengan kapasitas 0,017 M³ tekanan 1 MPa untuk menampung air hasil kondensasi mesin boge screw compressor. Perancangan pressure vessel ini berdasarkan tekanan dalam dari mesin kompresor sebesar 1 MPa, diameter shell, tegangan yang diijinkan pada bahan shell sebesar 103,421 MPa, bahan flathead sebesar 120,658 MPa dan efisiensi sambungan las sebesar 0,6. Hal dasar tersebut diperlukan untuk menghitung tebal minimum yang dibutuhkan pada dinding shell dan tebal minimum yang dibutuhkan pada flathead agar tidak pecah saat dioperasikan. Bahan yang digunakan adalah baja karbon rendah berbentuk silinder atau pipa untuk shell dan nozzle dengan diameter luar shell 219,1 mm dan tebal dinding shell adalah 6,4 mm, diameter luar nozzle 48,3 mm tebal 3,7 mm, diameter luar nozzle 26,7 mm tebal 2,9 mm, diameter luar nozzle 21,3 mm tebal 2,8 mm serta pelat dengan tebal 15 mm untuk flathead dan tebal 6 mm untuk support. Baja karbon dipilih karena punya sifat mampu las yang tinggi, kuat dan banyak digunakan di banyak industri.

Kata kunci: pressure vessel, kondensasi, boge screw compressor, shell, flathead, nozzle, support.

1. PENDAHULUAN

Pressure Vessel adalah suatu wadah yang digunakan untuk penyimpanan atau laluan fluida baik gas maupun cairan yang bertekanan. Tekanan tersebut bisa lebih besar dari tekanan udara luar *pressure vessel* atau lebih kecil dari tekanan udara luar *pressure vessel*. Klasifikasi *pressure vessel* menurut posisi atau tata letak *pressure vessel* yang terdiri dari dua macam posisi yaitu posisi horisontal dan posisi vertikal. Fungsi Pressure Vessel sebagai Tanki penyimpan bahan bakar dan alat penyimpan atau penampung bahan bakar baik cair maupun gas, untuk besar dan ukuran dari tanki penyimpan bahan bakar tergantung dari kapasitas yang akan direncanakan berdasarkan kebutuhan, berapa lama bahan bakar tersebut akan di simpan.

2.1. Perhitungan Tebal Minimum Shell

Untuk menghitung tebal minimum *shell* yang dibutuhkan agar mampu menahan tekanan dalam vessel menggunakan persamaan:

$$t_1 = \frac{PR}{SE - 0,6P} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

- Tekanan dalam silinder *shell* direncanakan
 $P = 1 \text{ MPa}$ dengan faktor koreksi 1,2 sehingga
 $P = 1 \text{ MPa} \times 1,2 = 1,2 \text{ MPa}$
- Diameter silinder *shell* direncanakan
 $d = 0,2032 \text{ m}$ sehingga
 $R = 0,1016 \text{ m}$
- Nilai tegangan maksimum yang diijinkan dari bahan pipa SA 106 *grade B*
 $S = 103,421355 \text{ MPa}$ (nilai S dapat dilihat pada lampiran 2)
- Efisiensi sambungan las yang digunakan
 $E = 0,6$ (nilai 0,6 digunakan karena jenis sambungan las tumpul satu sisi tanpa uji radiografi, dapat dilihat pada tabel 2.6.1 efisiensi sambungan)

Sehingga kalau dimasukkan kedalam persamaan menjadi

$$t = \frac{1,2 \text{ MPa} \times 0,1016 \text{ m}}{(103,421355 \text{ MPa} \times 0,6) - (0,6 \times 1,2 \text{ MPa})}$$

$$t = \frac{0,12192 \text{ MPa.m}}{62,052813 \text{ MPa} - 0,72 \text{ MPa}}$$

$$t = \frac{0,12192 \text{ MPa.m}}{61,332813 \text{ MPa}}$$

$$t = 0,00199 \text{ m}$$

$$t = 1,99 \text{ mm} \approx 2 \text{ mm}$$

Tebal minimum *shell* yang dibutuhkan adalah 2 mm sedangkan tebal pipa yang digunakan adalah 6,4 mm dengan massa per satuan panjang $33,310 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$, sesuai dengan ukuran dan berat pipa yang ada di pasaran, data ada pada lampiran 5.

2.2. Perhitungan Volume Air Dalam Silinder Shell

Untuk menghitung volume air dalam silinder *shell* menggunakan persamaan:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot L \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana:

- $\pi = 3,14$
- diameter dalam silinder *shell* $d = 0,2032 \text{ m}$, maka
 $r = 0,1016 \text{ m}$
- Panjang silinder *shell* $L = 0,53 \text{ m}$

Sehingga kalau kita masukan dalam persamaan maka volume air dalam silinder *shell* menjadi:

$$V = 3,14 \times (0,1016 \text{ m})^2 \times 0,53 \text{ m}$$

$$V = 3,14 \times 0,01032256 \text{ m}^2 \times 0,53 \text{ m}$$

$$V = 0,017 \text{ m}^3$$

2.3. Perhitungan Massa Air Dalam Silinder Shell

Untuk Menghitung massa air dalam silinder *shell* menggunakan persamaan:

$$m = V \cdot \rho \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana:

- Volume air $V = 0,017 \text{ m}^3$
- Masa jenis air $\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Sehingga kalau kita masukan dalam persamaan maka massa air dalam silinder *shell* menjadi:

$$m = 0,017 \text{ m}^3 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 17 \text{ kg}$$

2.4. Perhitungan Tegangan Ekvivalen Yang Terjadi Pada Silinder Shell

Besar tegangan tangensial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4) yaitu:

$$\sigma_t = \frac{p \cdot D}{2 \cdot t} = \sigma_1 (\text{tegangan prinsipal 1}) \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\sigma_1 = \frac{1,2 \text{ MPa} \times 0,2032 \text{ m}}{2 \times 0,0064 \text{ m}}$$

$$= \frac{0,24384 \text{ MPa} \cdot \text{m}}{0,0128 \text{ m}}$$

$$= 19,05 \text{ MPa}$$

Besar tegangan longitudinal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.5) yaitu:

$$\sigma_L = \frac{p \cdot D}{4 \cdot t} = \sigma_2 (\text{tegangan prinsipal 2}) \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\sigma_2 = \frac{1,2 \text{ MPa} \times 0,2032 \text{ m}}{4 \times 0,0064 \text{ m}}$$

$$= \frac{0,24384 \text{ MPa} \cdot \text{m}}{0,0256 \text{ m}}$$

$$= 9,525 \text{ Mpa}$$

Sehingga tegangan Ekvivalen yang terjadi pada silinder *shell* adalah:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2}$$

$$= \sqrt{(19,05)^2 + (9,525)^2 - (19,05 \times 9,525)}$$

$$= \sqrt{362,9025 + 90,725625 - 181,45125}$$

$$= \sqrt{453,628125 - 181,45125}$$

$$= \sqrt{272,176875}$$

$$= 16,498 \text{ MPa}$$

2.5. Perhitungan Tebal Minimum Nozzle

Nozzle yang dipakai menggunakan pipa *carbon steel* SA106 B, sebanyak 5 buah dengan rincian:

- 1) Dua buah *nozzle* untuk masuk dan keluar air kondensasi dengan diameter $d = 0,0381 \text{ m}$
 - 2) Dua buah *nozzle* untuk level air kondensasi dalam *pressure vessel* dengan diameter $d = 0,01905 \text{ m}$
 - 3) Satu buah *nozzle* untuk alat ukur tekanan dalam *pressure vessel* dengan diameter $d = 0,0127 \text{ m}$
- Untuk perhitungan tebal *nozzle* dengan diameter yang berbeda dengan menggunakan persamaan yang sama adalah sebagai berikut:
- 1) Perhitungan tebal dinding *nozzle* diameter $d = 0,0381 \text{ m}$

Untuk menghitung tebal minimum *nozzle* yang dibutuhkan, menggunakan persamaan:

$$t = \frac{PR}{SE-0,6P} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

- Tekanan dalam pipa *nozzle* direncanakan
P = 1 MPa dengan faktor koreksi 1,2 sehingga
P = 1 MPa x 1,2 = 1,2 MPa
- Diameter yang direncanakan untuk masuk dan keluar air kondensasi
d = 0,0381 m sehingga
R = 0,01905 m
- Nilai tegangan maksimum yang diijinkan dari bahan pipa SA 106 gradeB
S = 103,421355 MPa
- Efisiensi sambungan las yang digunakan
E = 0,6

Sehingga kalau dimasukan dalam persamaan tebal *nozzle* diameter

d = 0,0381 m menjadi:

$$t = \frac{1,2 \text{ MPa} \times 0,01905 \text{ m}}{103,421355 \text{ MPa} \times 0,6 - 0,6 \times 1,2 \text{ MPa}}$$

$$t = \frac{0,02286 \text{ MPa.m}}{62,052813 \text{ MPa} - 0,72 \text{ MPa}}$$

$$t = \frac{0,02286 \text{ MPa.m}}{61,332813 \text{ MPa}}$$

$$t = 0,0003727 \text{ m}$$

$$t = 0,3727 \text{ mm}$$

Tebal minimum dinding pipa yang dibutuhkan adalah 0,3727 mm sedangkan tebal dinding pipa yang digunakan adalah 3,7 mm, massa per satuan panjang $4,050 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$, sesuai dengan ukuran dan berat pipa yang ada dipasaran, data ada pada lampiran 5.

2) Perhitungan tebal dinding *nozzle* diameter d = 0,01905 m

Untuk menghitung tebal minimum *nozzle* yang dibutuhkan, menggunakan persamaan:

$$t = \frac{PR}{SE-0,6P} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

- Tekanan dalam pipa *nozzle* direncanakan
P = 1 MPa sesuai dengan tekanan yang dihasilkan oleh kompressor, faktor koreksi tekanan 1,2. Faktor koreksi digunakan dengan tujuan untuk ketelitian keamanan, sehingga
P = 1 MPa x 1,2 = 1,2 MPa
- Diameter yang direncanakan untuk masuk dan keluar air kondensasi
d = 0,01905 m sehingga
R = 0,009525 m
- Nilai tegangan maksimum yang diijinkan dari bahan pipa SA 106 gradeB
S = 103,421355 MPa
- Efisiensi sambungan las yang digunakan
E = 0,6

Sehingga kalau dimasukan dalam persamaan tebal *nozzle* diameter

$d = 0,01905$ m menjadi:

$$t = \frac{1,2 \text{ MPa} \times 0,009525 \text{ m}}{103,421355 \text{ MPa} \times 0,6 - 0,6 \times 1,2 \text{ MPa} \times 0,01143 \text{ MPa.m}}$$

$$t = \frac{62,052813 \text{ MPa} - 0,72 \text{ MPa}}{0,01143 \text{ MPa.m}}$$

$$t = \frac{61,332813 \text{ MPa}}{61,332813 \text{ MPa}}$$

$$t = 0,0001864 \text{ m}$$

$$t = 0,1864 \text{ mm}$$

Tebal minimum dinding pipa yang dibutuhkan adalah 0,1864 mm, sedangkan tebal dinding pipa yang digunakan adalah 2,9 mm, massa per satuan panjang $1,690 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$, sesuai dengan ukuran dan berat pipa yang ada dipasaran data dapat di lihat pada lampiran 5.

3) Perhitungan tebal *nozzle* diameter $d = 0,0127$ m

Untuk menghitung tebal minimum *nozzle* yang dibutuhkan, menggunakan persamaan:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

- Tekanan dalam pipa *nozzle* direncanakan
 $P = 1 \text{ MPa}$ dengan faktor koreksi 1,2 sehingga
 $P = 1 \text{ MPa} \times 1,2 = 1,2 \text{ MPa}$
- Diameter yang direncanakan untuk level air kondensasi dalam *pressure vessel* adalah:
 $d = 0,0127 \text{ m}$ sehingga
 $R = 0,00635 \text{ m}$
- Nilai tegangan maksimum yang diijinkan dari bahan pipa SA 106 *gradeB*
 $S = 103,421355 \text{ MPa}$
- Efisiensi sambungan las yang digunakan
 $E = 0,6$

Sehingga kalau dimasukan dalam persamaan tebal *nozzle* diameter

$d = 0,0127$ m menjadi:

$$t = \frac{1,2 \text{ MPa} \times 0,00635 \text{ m}}{103,421355 \text{ MPa} \times 0,6 - 0,6 \times 1,2 \text{ MPa} \times 0,00762 \text{ MPa.m}}$$

$$t = \frac{62,052813 \text{ MPa} - 0,72 \text{ MPa}}{0,00762 \text{ MPa.m}}$$

$$t = \frac{61,332813 \text{ MPa}}{61,332813 \text{ MPa}}$$

$$t = 0,0001242 \text{ m}$$

$$t = 0,1242 \text{ mm}$$

Tebal minimum dinding pipa yang dibutuhkan adalah 0,1242 mm sedangkan tebal dinding pipa yang digunakan adalah 2,8 mm, massa per satuan panjang $1,270 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$, sesuai dengan ukuran dan berat pipa yang ada dipasaran data dapat di lihat pada lampiran 5.

2.6. Perhitungan Tebal Minimum Pelat Flathead

Untuk menghitung tebal pelat minimum *flathead* yang akan dipakai menggunakan persamaan:

$$t = d \sqrt{\frac{CP}{SE}} \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana:

- Diameter *flathead* mengikuti diameter silinder *shell*
 $d = 0,2032 \text{ m}$
- Faktor tambahan,
 $C = 0,33$
- Tekanan dalam silinder *shell* direncanakan
 $P = 1 \text{ MPa}$ dengan faktor koreksi 1,2 sehingga
 $P = 1 \text{ MPa} \times 1,2 = 1,2 \text{ MPa}$
- Nilai Tegangan maksimum yang diijinkan untuk pelat SA 516 *grade* 70
 $S = 120,6582475 \text{ MPa}$ (nilai S dapat dilihat pada lampiran 2)
- Efisiensi sambungan las yang digunakan
 $E = 0,6$

Sehingga kalau kita masukan kedalam persamaan menjadi

$$t = 0,2032 \text{ m} \times \sqrt{\frac{0,33 \times 1,2 \text{ MPa}}{120,6582475 \text{ MPa} \times 0,6}}$$

$$t = 0,2032 \text{ m} \times \sqrt{\frac{0,396 \text{ MPa}}{72,39493485 \text{ MPa}}}$$

$$t = 0,2032 \text{ m} \times \sqrt{0,00547}$$

$$t = 0,2032 \text{ m} \times 0,0739$$

$$t = 0,01501648 \text{ m}$$

$$t = 15,01648 \text{ mm} \approx 15 \text{ mm}$$

Tebal pelat *flathead* minimum yang dibutuhkan adalah 15 mm dan tebal pelat *flathead* yang digunakan sesuai dengan tebal pelat *flathead* yang dibutuhkan yaitu 15 mm.

2.7. Beban Dan Tegangan Pada Support

Diketahui volume air dalam silinder *shell* adalah $0,017 \text{ m}^3$ dan massa air dalam silinder *shell* adalah $m = 17 \text{ kg}$, untuk menghitung beban dan tegangan pada *support* terlebih dahulu kita hitung beban total *pressure vessel* urutan perhitunganya adalah sebagai berikut:

1. Menghitung massa silinder *shell*
2. Menghitung volume pelat *flathead*
3. Menghitung massa pelat *flathead*
4. Menghitung massa *nozzle*
5. Menghitung massa total *pressure vessel*
6. Menghitung beban pada masing-masing *support*
7. Menghitung gaya berat pada salah satu *support*
8. Menghitung tegangan pada *support*

1. Menghitung massa silinder *shell*

Massa silinder *shell* dihitung dengan caramengalikan panjang silinder *shell* dengan massa per satuan panjang silinder *shell*.

dimana:

- Panjang *shell*
 $L = 0,53 \text{ m}$

Massa per satuan panjang pipa SA – 106 B dengan tebal 6,4 mm = $33,310 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

Sehingga massa silinder *shell* menjadi:

$$0,53 \text{ m} \times 33,310 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 17,65 \text{ kg}$$

2. Menghitung volume pelat *flathead*

Untuk menghitung volume pelat *flathead* menggunakan persamaan:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot L \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana:

- $\pi = 3,14$
- diameter pelat *flathead* $d = 0,2032 \text{ m}$ maka
 $r = 0,1016 \text{ m}$
- Panjang pelat sama dengan tebal pelat
 $t = 15 \text{ mm}$
 $t = 0,015 \text{ m}$

Sehingga kalau kita masukan dalam persamaan maka volume pelat *flathead* menjadi:

$$V = 3,14 \times (0,1016 \text{ m})^2 \times 0,015 \text{ m}$$

$$V = 3,14 \times 0,01032256 \text{ m}^2 \times 0,015 \text{ m}$$

$$V = 0,000486 \text{ m}^3$$

Karena menggunakan dua pelat untuk *flathead* maka volumenya menjadi:

$$V = 0,000486 \text{ m}^3 \times 2$$

$$= 0,000972 \text{ m}^3$$

3. Untuk menghitung massa pelat *flathead* yang digunakan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$m = V \cdot \rho \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana:

$$\text{Volume pelat } flathead \text{ } V = 0,000972 \text{ m}^3$$

$1 \text{ m}^3 = 7842,55 \text{ kg}$. (sumber: Eugene F. Megyesy, *Pressure Vessel Handbook*. Halaman 374, *Eleventh Edition*)

Sehingga massa *flathead* menjadi:

$$= 0,000972 \text{ m}^3 \times 7842,55 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$= 7,62 \text{ kg}$$

4. Untuk menghitung massa *nozzle* menggunakan data dari tabel ukuran dan berat pipa yang ada pada lampiran 5

dimana:

- Panjang satu meter pipa SA 106 B
diameter $d = 0,0381 \text{ m}$
tebal $t = 3,7 \text{ mm}$
 $t = 0,0037 \text{ m}$

$$\text{massanya} = 4,050 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

yang digunakan panjangnya $L = 0,08 \text{ m}$.

Sehingga massa *nozzle* yang dipakai adalah:

$$2 \times 4,050 \times 0,08 = 0,648 \text{ kg}$$

- Panjang satu meter pipa SA 106 B
diameter $d = 0,01905 \text{ m}$

tebal $t = 2,9 \text{ mm}$

$t = 0,0029 \text{ m}$

massanya $= 1,690 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

yang digunakan panjangnya $L = 0,07 \text{ m}$

Sehingga massa *nozzle* yang dipakai adalah:

$$2 \times 1,690 \times 0,07 = 0,2366 \text{ kg}$$

- Panjang satu meter pipa SA 106 B

Diameter $d = 0,0127 \text{ m}$

Tebal $t = 2,8 \text{ mm}$

$t = 0,0028 \text{ m}$

Massanya $= 1,270 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

Pipa yang digunakan panjangnya $L = 0,03 \text{ m}$

Sehingga massa *nozzle* yang dipakai adalah:

$$1,270 \times 0,03 = 0,0381 \text{ kg}$$

Massa total keseluruhan *nozzle* adalah:

$$0,648 \text{ kg} + 0,2366 \text{ kg} + 0,0381 \text{ kg} = 0,9227 \text{ kg}$$

5. Untuk menghitung massa total *pressure vessel* dilakukan dengan cara:
menjumlahkan massa air pada *shell* + massa *shell* + massa *flathead* + massa total *nozzle* sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Massa total pressure vessel} &= 17 \text{ kg} + 17,65 \text{ kg} + 7,62 \text{ kg} + 0,9227 \text{ kg} \\ &= 43,1927 \text{ kg} \end{aligned}$$

6. Untuk mengetahui beban pada masing-masing *support* dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_o = \frac{W_o}{2} \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana:

Massa total $W_o = 43,1927 \text{ kg}$

Sehingga:

$$\begin{aligned} Q_o &= \frac{43,1927 \text{ kg}}{2} \\ &= 21,59635 \text{ kg} \end{aligned}$$

7. Untuk menghitung gaya berat pada salah satu *support* menggunakan persamaan:

$$W = m \cdot g \dots \dots \dots (2.8)$$

dimana:

Beban massa pada salah satu *support* $m = 21,59635 \text{ kg}$

Gaya gravitasi bumi $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{det}^2}$

Sehingga kalau kita masukkan dalam persamaan didapatkan:

$$\begin{aligned} W &= 21,59635 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{det}^2} \\ &= 211,86 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{det}^2} \\ &= 211,86 \text{ N} \end{aligned}$$

8. Dikarenakan besar gaya pada salah satu *support* sudah diketahui maka untuk menghitung tegangan yang terjadi menggunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

Gaya pada salah satu *support* $F = 211,86 \text{ N}$

Luas penampang *support* $A = P \times t$

Dimana:

Panjang pelat *support*

$$\begin{aligned} P &= 2r \times \sin \frac{120^\circ}{2} \dots \dots \dots (2.10) \\ &= 2 \times 101,6 \times \sin 60^\circ \\ &= 2 \times 101,6 \times \frac{1}{2} \sqrt{3} \\ &= 176 \text{ mm} \\ &= 0,176 \text{ m} \end{aligned}$$

Tebal pelat *support*

$t = 0,006 \text{ m}$

Sehingga luas penampang *support* menjadi

$$\begin{aligned} &= 0,176 \text{ m} \times 0,006 \text{ m} \\ &= 0,001056 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga besar tegangan pada salah satu *support* adalah:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{211,86 \text{ N}}{0,001056 \text{ m}^2} \\ &= 200625 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \\ &= 200625 \text{ Pa} \\ &= 0,200625 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Support menggunakan material SA 516 grade 70 atau A 516 grade 70 yang mempunyai nilai tegangan maksimum yang diijinkan $S = 120,6582475 \text{ MPa}$ untuk temperatur -20°F sampai dengan 650°F , sesuai dengan perhitungan diatas maka tegangan yang terjadi pada pelat yang digunakan dengan tebal $6 \text{ mm} \times 176 \text{ mm}$ adalah $0,200625 \text{ MPa}$ sangat kecil jika dibandingkan dengan tegangan maksimum yang di ijinakan pada material, oleh karena itu jika pelat tersebut diatas digunakan maka pelat akan kuat menumpu *pressure vessel*.

2.8. Sambungan Las

Sambungan las yang ada pada *pressure vessel* ini menggunakan logam terbungkus elektroda atau *Shielded Metal Arc Welding*, jenisnya LB-26 kelas A5.1/E7016 jenis dan kelas ini dipilih karena mempunyai kekuatan tarik (*tensile strength*) dan kekuatan luluh (*yield point*) yang lebih besar dibandingkan dengan bahan induk yang dilas, sehingga sambungan las dalam keadaan aman jika *pressure vessel* ini dioperasikan.

2.9. Faktor Keamanan Pressure Vessel

Faktor keamanan sangat penting dalam merancang dan membuat *pressure vessel* agar *pressure vessel* tersebut setelah diaplikasikan tidak pecah. Oleh karena itu ketebalan pelat yang dipakai $t = 6,4 \text{ mm}$ dan seberapa besar tegangan luluh minimum yang terjadi pada *shell* jika faktor keamanannya empat dapat diketahui dengan teori kegagalan pada suatu material yang telah ada seperti MDET (*Mises Distortion Energy Theory*).

Tegangan luluh (*yield point / yield strength*) yang direkomendasikan oleh MDET (*Mises Distortion Energy Theory*) adalah:

$$\sigma_{eq} \leq \frac{S_y}{SF} \dots \dots \dots (2.11)$$

dimana:

$$\sigma_{eq} = 16,498 \text{ MPa}$$

$$\text{Faktor Keamanan (SF)} = 4$$

Jika dimasukkan dalam persamaan (211) maka:

$$16,498 \text{ MPa} \leq \frac{S_y}{4}$$

$$S_y = 16,498 \text{ MPa} \times 4$$

$$S_y = 65,992 \text{ MPa}$$

Dari hasil perhitungan diatas nilai 65,992 MPa adalah nilai minimum tegangan luluh (*yield point / yield strength*) yang direkomendasikan oleh MDET (*Mises Distortion Energy Theory*) sedangkan nilai tegangan luluh (*yield point*) bahan *shell* SA-106B yang digunakan adalah 241,316495 Mpa dengan demikian tegangan luluh bahan masih lebih besar dari tegangan luluh yang direkomendasikan oleh MDET, berarti bahwa *shell* untuk *pressure vessel* ini aman jika di aplikasikan.

Tabel 2.1. Dimensi Bagian-Bagian Pressure Vessel

No	Bagian Pressure Vessel	Bahan	Bentuk	Diameter	Tebal
				mm	mm
1	Shell	SA 106 B	Silinder	203,2	2
2	Flathead	SA 516 Gr 70	Pelat	203,2	15
3	Nozzle	SA 106 B	Silinder	38,1	0,37
4	Nozzle	SA 106 B	Silinder	19,05	0,1778
5	Nozzle	SA 106 B	Silinder	12,7	0,124
6	Support	SA 516 Gr 70	Pelat		6

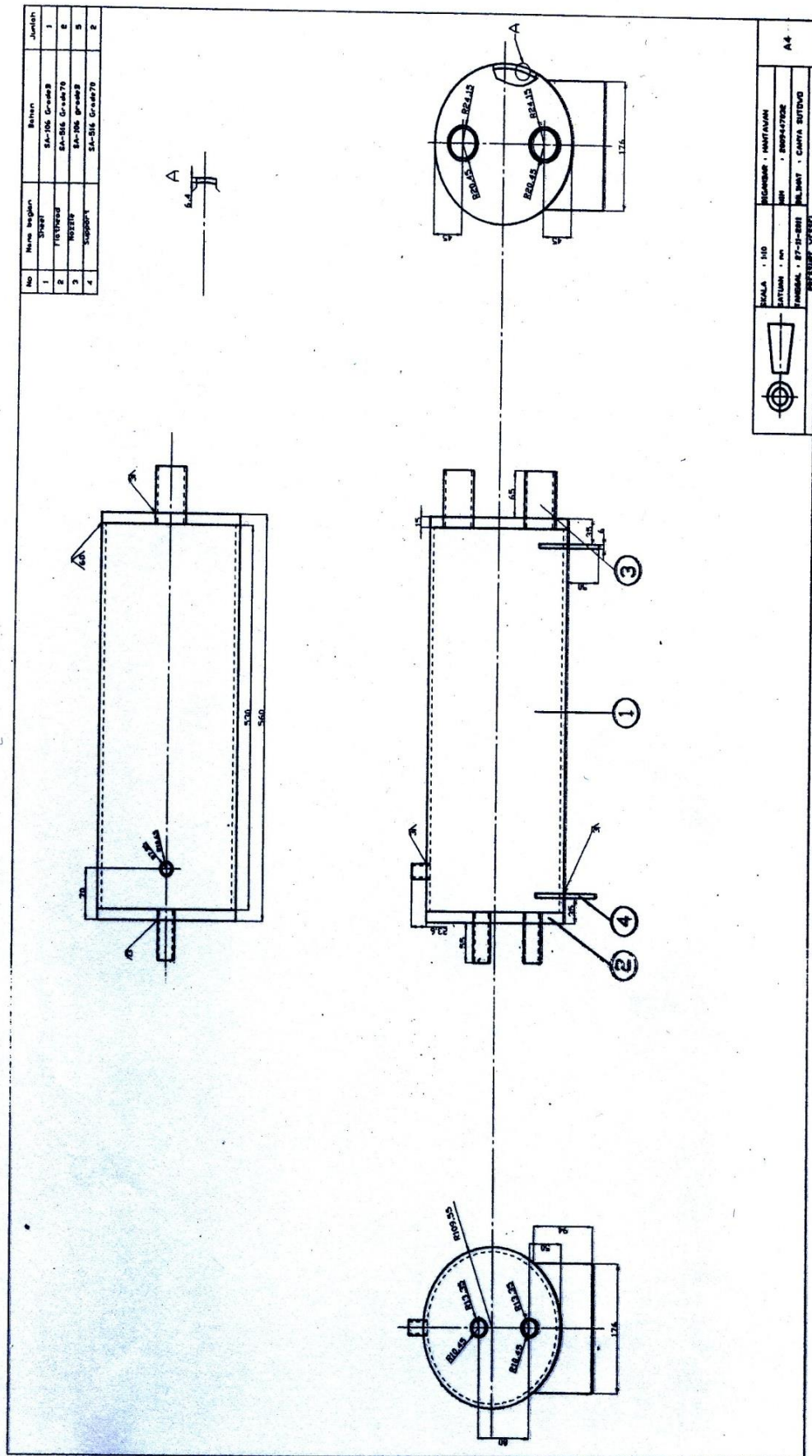
Data yang ada pada tabel 2.1 adalah data hasil perhitungan ketebalan minimum yang dibutuhkan dalam perancangan *pressure vessel* ini kecuali *support*, akan tetapi dalam aplikasinya menggunakan bahan-bahan yang sudah ada dipasaran dengan syarat tidak lebih kecil dari data pada tabel 2.1.

Tabel 2.2. Dimensi Bagian-Bagian Pressure Vessel Yang Dipakai

No	Bagian Pressure Vessel	Bahan	Panjang mm	Bentuk	Diameter Luar	Tebal
					mm	mm
1	Shell	SA 106 B	530	Silinder	219,1	6,4
2	Flathead	SA 516 Gr 70	-	Pelat	219,1	15
3	Nozzle	SA 106 B	80	Silinder	48,3	3,7
4	Nozzle	SA 106 B	70	Silinder	26,7	2,9
5	Nozzle	SA 106 B	30	Silinder	21,3	2,8
6	Support	SA 516 Gr 70	176	Pelat	-	6

Data pada tabel 2.2 diatas sesuai dengan bahan yang ada di pasaran sehingga dapat digambar perancangan *pressure vessel* ini.

4.10. Gambar Desain dan Dimensi Pressure Vessel



Perhitungan Tebal Minimum Shell

Untuk menghitung tebal minimum *shell* yang dibutuhkan agar mampu menahan tekanan dalam vessel menggunakan persamaan:

$$t_1 = \frac{PR}{SE - 0,6P} \dots \dots \dots (2.1)$$

- Tekanan dalam silinder *shell* direncanakan
 $P = 1 \text{ MPa}$ dengan faktor koreksi 1,2 sehingga
 $P = 1 \text{ MPa} \times 1,2 = 1,2 \text{ MPa}$
- Diameter silinder *shell* direncanakan
 $d = 0,2032 \text{ m}$ sehingga
 $R = 0,1016 \text{ m}$
- Nilai tegangan maksimum yang diijinkan dari bahan pipa SA 106 *grade B*
 $S = 103,421355 \text{ MPa}$ (nilai S dapat dilihat pada lampiran 2)

Sehingga kalau dimasukan kedalam persamaan menjadi

$$t = \frac{1,2 \text{ MPa} \times 0,1016 \text{ m}}{(103,421355 \text{ MPa} \times 0,6) - (0,6 \times 1,2 \text{ MPa})}$$

$$t = \frac{0,12192 \text{ MPa.m}}{62,052813 \text{ MPa} - 0,72 \text{ MPa}}$$

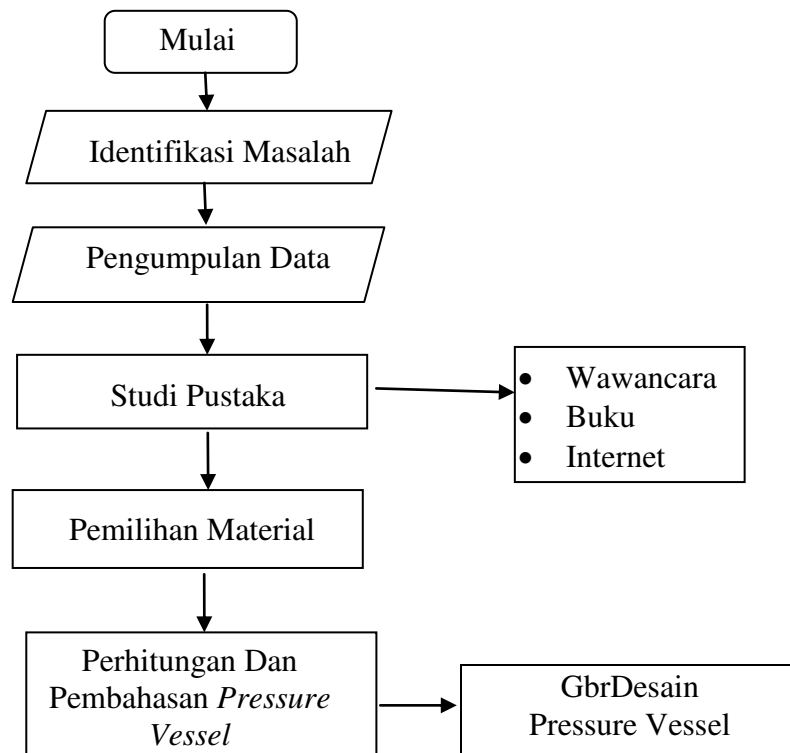
$$t = \frac{0,12192 \text{ MPa.m}}{61,332813 \text{ MPa}}$$

$$t = 0,00199 \text{ m}$$

$$t = 1,99 \text{ mm} \approx 2 \text{ mm}$$

Tebal minimum *shell* yang dibutuhkan adalah 2 mm sedangkan tebal pipa yang digunakan adalah 6,4 mm dengan massa per satuan panjang $33,310 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$, sesuai dengan ukuran dan berat pipa yang ada di pasaran,

3. SKEMA NUMERIK.



4.1. KESIMPULAN

Setelah melakukan perhitungan dan pembahasan dalam perancangan *pressure vessel* ini dengan tekanan kerja 1 Mpa, kapasitas 0,017 m³ maka dapat ditarik kesimpulan dalam bentuk tabel seperti di bawah ini:

Tabel 4.1. Dimensi Pressure Vessel

No	Bagian Pressure Vessel	Bahan	Panjang mm	Bentuk	Tinggi mm	Diameter Luar mm	Tebal mm
1	Shell	SA 106 B	530	silinder	-	219,1	6,4
2	Flathead	SA 516 Gr 70	-	Pelat	-	219,1	15
3	Nozzle	SA 106 B	80	silinder	-	48,3	3,7
4	Nozzle	SA 106 B	70	silinder	-	26,7	2,9
5	Nozzle	SA 106 B	30	silinder	-	21,3	2,8
6	Support	SA 516 Gr 70	176	Pelat	50	-	6

4.2.SARAN

Desain *pressure vessel* ini dapat diaplikasikan dan dioperasikan secara otomatis dengan menambah beberapa perlengkapan lain seperti:

1. *Bekomat* yaitu alat untuk memonitor *level* air dalam *pressure vessel*, dapat disambungkan dengan *nozzle* diameter luar 26,7 mm.
2. *Solenoid valve* yaitu sebuah katup dengan aktuator normal tutup, dapat disambungkan dengan *nozzle* diameter luar 48,3 mm.
3. *Pneumatik valve 3/2* yaitu alat untuk menggerakkan *solenoid valve* sesuai sinyal yang diberikan oleh *bekomat*.
4. Selang udara untuk jalur masuk udara bertekanan ke *pneumatik* dan aktuator.
5. *Pressure indikator* yaitu alat untuk mengetahui tekanan dalam *pressure vessel*.

REFERENSI

1. *American Society of Mechanical Engineers Boiler & Pressure vessel Code, Rules for*
2. *Contruction of Pressure Vessel , Section VIII Division I*, New York, 2007.
3. Anggoro Budisusilo, *Bunga Rampai Ebtanas Fisika SMA*, Edisi Kedua, PT Intan
4. Pariwara Jakarta, 1988
5. Daud Pinem, *Mekanika Kekuatan Material Lanjut*, Cetakan Pertama, Rekayasa
6. Sains, Bandung, 2010.